

大阪市立大学生活科学部紀要・第39巻（1991）

光源の演色性による表面色の明るさ知覚と誘目性に関する研究 — 単色ならびに補色対比による 2 色の見え方について —

佐藤昌子・福田美生・皆川 基

Study of the Brightness and Attentiveness of Object Colors by Color Rendering of Light Source: Appearance of Single-colors and Complementary Contrasted Two-colors

MASAKO SATO, MIO FUKUDA and MOTOI MINAGAWA

緒 言

人間はさまざまな情報を 5 感を通じて入手するが、目から取りこまれる色彩、形状、位置、運動、および、明るさなどの視覚情報がそのうちの約 80% を占めるといわれている¹⁾。中でも人間の心理と関係する色彩情報は行動科学との関連においてますます重要になってきている。

物体の色彩は、色物体とその物体に照射される照明光源との間で決まる光学的測光量、観測者の視覚系の物理学的・生理学的次元、および、心理知覚的次元の諸要因が統合されたものである。また一方、物体表面の色の見え方は照射光源などの物理条件ばかりでなく、背景視野²⁾、色対比（配色）^{3), 4)}などの視環境のさまざまな変化によっても影響されるため心理知覚効果が異なる。R. W. G. Hunt は⁵⁾ 物体色を種々の因子との相対的關係を含んで見える色彩という意味で関連色（related color）と名づけ、光源色の非関連色（unrelated color）と区別している。色の客観的（感覚的）表示方法には、サンプルの表面分光特性に起因する物理刺激（三刺激値）から標準観測者等色関数に基づき誘導される CIE 表色系（CIE 1964, JIS Z 8701-1982）が代表的である。一方人間の主観（知覚）に基づく色の表示法には、マンセル表色系、オストワルト表色系、ドイツの DIN 表色系（DIN 6164 Fabenkarte）、スウェーデンの NCS 表色系（Swedish Standards Institution）などがあるが、日本ではマンセル表色系が JIS にも取入れられ一般的である。

マンセル表色系は物体表面からの反射光を視覚中枢において心理量に変換し、物体標準との視感等色で色を表示する心理的概念による知覚色である。主観的な物体の色彩を表示するのに用いられ、JIS では三属性による色の表示方法 Z8721-1977 として規定され、多くの色彩現場において活用されている。

マンセル表色系は色相、明度／彩度（HV/C）の三属性による知覚的に等歩度色空間による色立体を定義し、色相（H）の環を 100 色相分割（JIS では 40 色相分割）し、一方、無彩色の知覚的に等歩度明度（V）水準を垂直軸に配し、有彩色は無彩色明度と等しく彩度の異なる色票を知覚的に等歩度に水平軸に配した色立体である。知覚的に等歩度の関係にある等差級数的なマンセル V 尺度に対する視感反射率 Y（%）の値の変化は等比級数的である。たとえば、マンセル明度 8, 5, 3 に対する Y の値は、それぞれ 59.10%, 19.77%, 6.56% と規定されている。しかし、有彩色物体の明るさ感や色の見え方は、Y 値が同じであっても無彩色に対して知覚される明るさとは異なる、いわゆる Helmholtz-Kohlrausch 効果として指摘され問題となっている⁶⁾。この色の見え方は光源のエネルギー分布や照度の影響をうけることも報告されている^{7) 8)}。納谷らは Helmholtz-Kohlrausch 効果による物体色の色の見え方について、L/Y 比（視感反射率に対する Lightness の比）を理論的あるいは実用的見地から推定するための非線形モデルを用いた一連の研究を行っている^{9) 10)}。しかし、まだ十分明らかではない。染色布に対する染色堅牢度試験（JIS L0801-1978）では、種々の繊維、糸使い、織構造など表面特性の異なる

有彩色布の退色、汚染の判定基準を無彩色紙片のグレースケールとの目視判定によって行っているが、実用上の問題点も提起されている¹¹⁾。また、各種デザイン、設計において、作者の思想を表現し、正しく相手にその意図を伝えるためにも、明るさ知覚と誘目性の関係は興味深い課題である。

そこで、本研究は表面色の視知覚に及ぼす光学的物理因子¹²⁾の影響について明かにすることを目的として、

1) 単色で有色物体を見た場合、光学的測色値による心理物理量、すなわち客観的な明度 (Lightness, V_L) に対し、主観的に知覚される明るさ (Brightness, V_B) は同じであるのか、また、差異が生じるならば、表面の光学的物理特性の輝度、光沢度、及び彩度 (純度) の中、最も影響の大きい因子は何か。

2) 同じ V_L をもつ補色関係にある2色を対比させた場合、2色間の V_B の関係は単色知覚の場合と同じであるのか、さらに、誘目性には物理的因子の何が最も影響するのか。

以上の2項目について検討した。

方 法

1. 実験用色紙

表面色測定用色サンプルは、色彩計画用として市販されている新配色カード175 (日本色彩研究所¹³⁾) を用いた。これは、同社の市販配色カードの中で最も光沢の低いマット調印刷色紙である。

2. 光学的物理量の測定

a) サンプル表面色の機器測定

サンプル表面の色の物理的計測は Spectro Colori Meter SZ-Σ80 (日本電色¹⁴⁾) を用い、標準の光 D_{65} 、10度視野¹⁵⁾ 条件で測定した。

b) サンプル表面の光沢度

サンプルの光沢度はデジタル変角光沢計 Model VG-1D (日本電色¹⁴⁾) を用い、標準の光 D_{65} 、45° gloss を測定した。

c) サンプル表面の輝度

図1の標準光源装置内にサンプルを置き、サンプル表

面の輝度を Minolta Luminance Meter 1/3° digital を用い視感測定と同じ45° の角度から測定した。

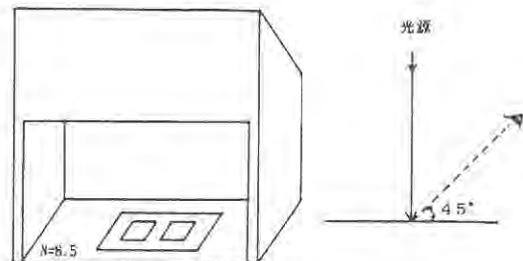


図1 表面色の視感比較方法

標準光源装置 Spectralight SPL-65 (Macbeth)

3. サンプルの抽出と諸元

本研究は照明並びに色対比による視観察の環境条件が人間の知覚判断にどのように影響を及ぼすのかを物理的計測 (感覚的) 値と対比させることによって明らかにすることを目的としている。したがって、観測者による知覚量を物理量に対応させるためには色に関する物理計測結果をマンセル値に変換して表示すると便利である。なお、CIE \bar{Y} , x , y とマンセル色票の関係は JIS Z 8721 に規定されているが、本装置は内蔵するコンピューターソフトによって変換し自動的にマンセル値が表示される機能をもっている。

全カードのマンセル表色値 ($H V/C$) を機器測定し、この中からマンセル明度 V_L が 8, 5, 3 に近いものをそれぞれ 20, 14, 7 個の計 41 色を選び試料サンプルとした。サンプル番号は CIE 色度図上の x , y プロットから主波長 (Dominant wavelength; λ_d) または補色主波長 (Complementary wavelength; λ_c) を求め、 $V_L = 8$ 、マンセル色相が 5 R のサンプルを 1 とし、主波長の長いものから短いものへと配列するように、すなわち、マンセル色相環の順に割り当てた。そのマンセル表色値と新配色カード 175 での対応する記号、及び主波長 (補色主波長) を表 1 に示す。表から明らかなように $V_L = 8$ は 7.9 ± 0.5 の色紙群、 $V_L = 5$ は 5.0 ± 0.5 の色

注 1) 後述するように、本論文で用いた機器によって測定される光学的な物理量は光学的な絶対値ではなく、比視感度補正された値として計測される。即ち客観的な心理物理量である。

注 2) 水晶体を通った光は、網膜の中心窩を中心に結像される。2 度視野の結像面積に相当する中心窩には錐状体視細胞のみが分布し、桿状体視細胞は分布しない。その反対に中心窩の周辺部では錐状体視細胞の分布が急激に低下し桿状体視細胞が急増する。錐状体視細胞は主として色や形状に感度を示し、桿状体視細胞は明るさに感度を示す。したがって、本実験では 10 度視野条件によって視感測定を行っているが、機器測定も 10 度視野条件で行った。

表 1. サンプルの諸元

サンプル No.	新配色カード 175の記号	マンセル表示		主波長または補 色主波長(nm)	光沢度 (%)	
		Hue	Value/Chroma			
1	p4	V _L = 8	7.9R	8.0/3.5	592.7	3.83
2	FL-4		7.3YR	8.1/2.7	583.4	3.68
3	p6		7.6YR	8.4/3.7	583.2	4.24
4	It6		7.6YR	7.6/8.1	584.3	4.43
5	Itg6		8.1YR	7.7/1.6	582.3	3.68
6	b8		4.7Y	8.4/10.4	577.8	6.80
7	It8		5.1Y	8.5/7.5	577.1	4.78
8	V9		0.7GY	8.2/11.1	573.4	7.32
9	b10		3.8GY	7.4/8.8	572.0	8.41
10	It10		4.2GY	8.0/6.6	570.8	4.47
11	Itg10		5.1GY	7.6/1.8	573.2	3.63
12	It12		3.5G	7.5/6.0	547.5	3.85
13	p12		4.6G	8.0/2.7	556.5	3.78
14	p14		6.9BG	7.9/2.8	510.2	3.70
15	p16		7.2B	7.9/3.1	488.2	3.67
16	p18		4.2PB	7.8/2.9	472.4	3.55
17	p20		8.9PB	7.5/2.9	λ _{553.3}	3.49
18	p22		5.9P	7.9/2.8	λ _{501.2}	3.57
19	p24		3.1PR	8.0/3.0	λ _{493.2}	3.76
20	PI-1		3.9PR	7.7/6.5	λ _{496.2}	3.62
21	V3	V _L = 5	5.2R	5.2/15.3	614.5	6.71
22	dp4		9.3R	4.6/10.3	600.0	9.81
23	BR-3		2.9YR	5.1/3.3	589.6	6.47
24	g8		4.0Y	5.2/1.2	579.3	5.15
25	V12		3.4G	5.4/10.3	533.4	4.14
26	d12		3.6G	5.2/4.4	547.0	7.37
27	V13		6.1G	4.9/11.2	515.5	7.09
28	V14		3.9BG	4.9/10.3	497.2	5.97
29	V15		10BG	4.6/8.2	490.5	4.48
30	V16		5.2B	4.5/8.4	486.2	7.71
31	b18		3.6PB	5.3/9.5	480.3	4.43
32	PI-4		3.4RP	5.4/14.3	λ _{502.9}	5.93
33	V1		2.3R	4.4/15.5	492.8	8.15
34	d2		2.9R	4.7/6.0	614.5	6.60
35	dk4	V _L = 3	7.4R	3.3/4.2	602.5	7.06
36	BR-7		6.5YR	3.4/1.4	585.3	6.10
37	dk12		4.8G	3.6/3.5	537.5	5.07
38	dk14		7.5BG	3.2/3.0	493.3	4.87
39	dk16		6.9B	3.1/3.4	485.4	4.56
40	dk24		5.1RP	2.9/4.0	λ _{498.9}	7.84
41	dk2		10RP	3.2/4.4	λ _{493.2}	4.61

紙群, $V_L = 3$ は 3.2 ± 0.4 の色紙群を称している。また, 知覚明度尺度として用いる無彩色 ($V_L = 2.0 \sim 9.0$) 15 枚も選んだ。なお, 機器測定のマンスセル色値は, 少数点 1 桁の有効数字をもっているが, 以後のサンプルに対するマンスセル V_L 表示は, JISZ8721 準拠, 標準色票光沢版 (日本規格協会) の 1928 色の中から便宜上整数値として表示する (但し, 解析にはすべて実測値を用いる)。

4. 視感測定法

a) 標準光源装置による視感測定

視感測定は標準光源装置 Spectralight SPL-65 (Macbeth)(図 1) を用い, 規定された照明光源下で約 45° の角度から測定した。

b) 照明光源の種類

照明は標準光源装置に装備されている標準の光 D_{65} , 冷白色蛍光灯 CWF, および日没光 HOR の分光エネルギー比の異なる 3 種の光源を用いた。図 2 に示すように, D_{65} は紫外域を含む平均的な昼光のエネルギー分布, CWF は市販されている蛍光灯の中で白色蛍光灯に近いエネルギー分布をもつ。また, HOR は標準光源 A, タングステン電球に近似した分光エネルギー分布をもつ。

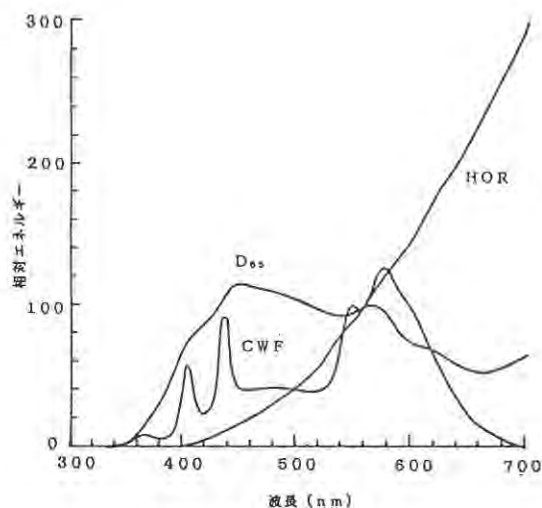


図 2 光源の相対分光分布

表 2. 照明光源の諸元

照明光源	色温度 (°K)	特殊演技 色評価数	平均演色 評価数	照 度* (lx)
標準の光 D_{65}	6500	91	94	2300
白色蛍光灯 CWF	4400	62	—	1440
日没光 HOR	2300	99	—	1370

* Minolta デジタル照度計 T-1 で測定

照明光源の色温度, 特殊演色評価数, 平均演色評価数, および, 標準光源装置の床面中央における照度の測定値を表 2 に示す。

5. 心理知覚測定法

a) 観測者

観測者は 21~25 才の女子大学生 11 名 (裸眼者 5 名, コンタクト装着者 6 名) である。予備実験による視感測定の学習効果によって測定精度の向上を計ったが観測者に対する検定は行っていない。

b) サンプルの明るさ知覚測定法

単色の場合の明度 V_L と明るさ知覚 V_B の関係を明らかにするために図 3 の方法で視感測定した。

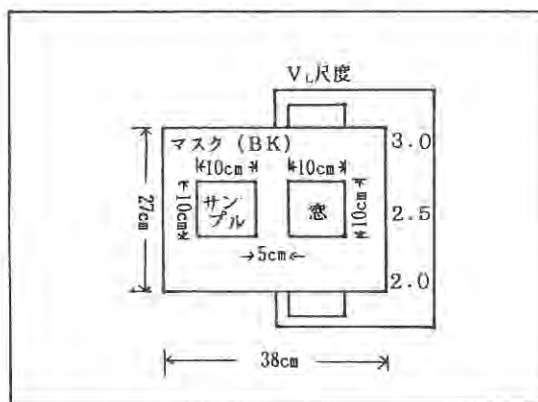


図 3 サンプルの明るさ知覚測定法

ケント紙に $10 \times 10 \text{ cm}^2$ のサンプルを左側に貼り, 一方 $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 窓枠を 2 ヶ所あけた黒のマスク ($27 \times 38 \text{ cm}^2$) をのせる。別のケント紙に無彩色色紙を貼った V_L 尺度 (明度 0.5 間隔の 3 枚) を 5 枚に作成した。すなわち, 明度尺度は $N = 2.0 \sim 9.0$ の 15 水準である。

ある光源の下で観測者には $10 \times 10 \text{ cm}^2$ のマスクの左窓から見えるサンプルの V_B を右窓の V_L 尺度と同じ明るさに見える数値 (等価明度)⁷⁾ を補間法で回答してもらった。3 水準の V_L 値をもつ全サンプル 41 枚をランダムに提示して回答してもらった。これを 1 組の実験とし, 照明光源を変化させる場合には, 日を変えるなど, 残像現象や記憶などの影響のないように十分に配慮して行った。人によって応答速度が異なるため 1 組の実験に

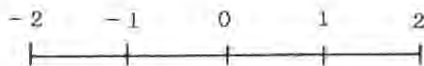
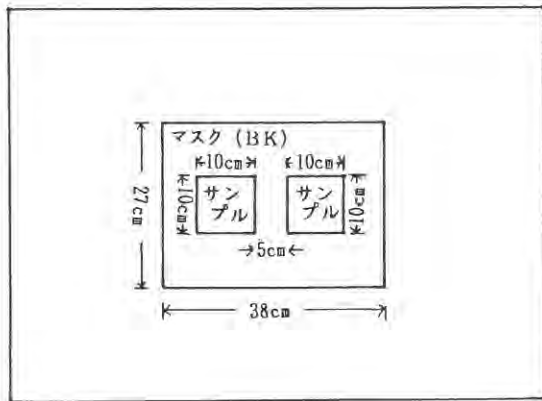
注 3) サンプルより 57cm の距離から観測すると 10 度視野の大きさは $10 \times 10 \text{ cm}^2$ である。

要する時間は異なるが平均30~40分であった。

c) 2色対比における明るさ知覚、及び、目立ちの感情効果の測定法

物理量としての V_L が等しくかつ2色が物理的補色関係 (CIE 表色系の色度図上において補色関係) にある組み合わせを30対 ($V_L=8$ は18対, $V_L=5$ は8対, $V_L=3$ は4対) を選びだし2色対比の試料とした。

観測者にはマスクの両窓から見えるサンプルを対比して左サンプルを基準とする右サンプルの明るさ知覚と誘目性について5段階の心理尺度値で回答してもらった。提示パネルと心理尺度を図4に示す。



心理尺度値

- 2 : 左に比べて右がかなり明るい (目立つ)
- 1 : 左に比べて右がやや明るい (目立つ)
- 0 : 左と右が同じに見える
- 1 : 左に比べて右がやや暗い (目立たない)
- 2 : 左に比べて右がかなり暗い (目立たない)

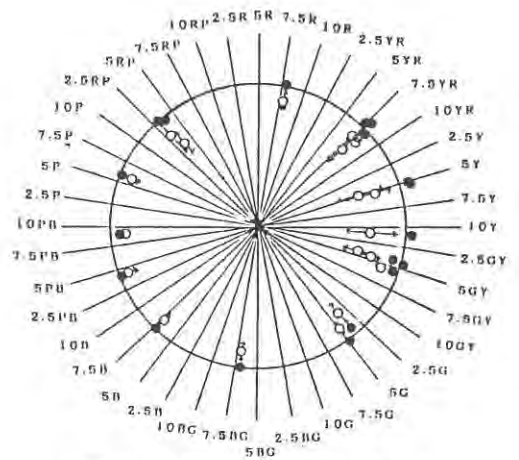
図4 2色対比における観測方法

実験は、左右ふりかえても行った。明るさ知覚、誘目性の両実験においても、照明を変える場合、左右ふりかえる場合は、単色実験と同様に、1組の実験が互いに視覚的にも心理的にも影響のないように配慮して行った。

結果と考察

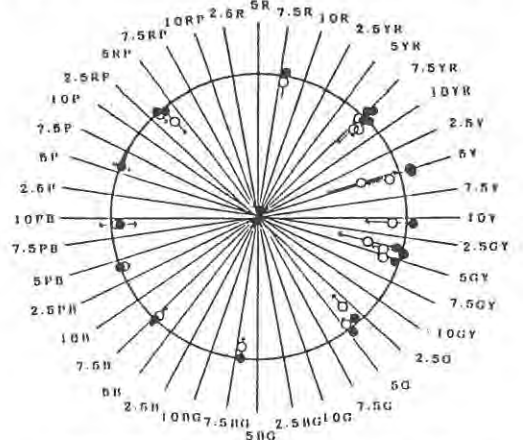
1. 照明光源および光学的物理因子が明るさ知覚に及ぼす影響 (単色の場合)

$V_L=8$ のサンプルについて、 V_B 平均値とその標準



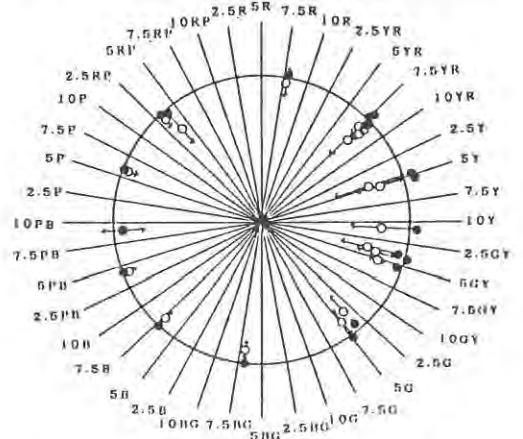
照明光源 : D₆₅ サンプル : $V_L=8$

図5 サンプルの V_L (●) と V_B (○) の関係



照明光源 : H0R サンプル : $V_L=8$

図6 サンプルの V_L (●) と V_B (○) の関係



照明光源 : CWF サンプル : $V_L=8$

図7 サンプルの V_L (●) と V_B (○) の関係

偏差, および V_B の関係を図5 (D_{95}), 図6 (HOR), 図7 (CWF) に示す。これらの図は3次元のマンセル色立体を H/V の2次元展開として図示したものである。すなわち, 色相環の中心を $V=0$ とし, 放射線のフルスケールを $V=10$, したがって, 実線の円周を $V_L=8$ の等明度線として表示している。●がサンプルの機器測定による明度 V_L , ○が観測者による知覚明度 V_B の平均値を, また矢印がその標準偏差を示している。

分光エネルギー分布の異なる3種の光源のいずれにおいても, 特に黄色系色相の V_B は V_L よりも低く知覚され, 観測者によるバラツキつまり標準偏差が大きくなる傾向が認められた。Helmholtz-Kohlrausch 効果では, 有彩色物体の知覚明度はそれと同一の Y 値を有する無彩色サンプルの知覚明度に比べて一般に高く, その傾向は赤, 紫, 青, 緑の色相で高く, 黄色相でその効果が小さいといわれている¹²⁾ が, 本研究の効果は色相による傾向が同じで全体に低明度側にシフトした結果となった。

物体の表面色を視感によって評価する方法については, 有彩色物体と同程度の明度の無彩色をマスクとして用いることが一般に推奨されている (JIS Z8723-1988)。本研究では $V_L=3\sim 8$ の広範囲の明度サンプルをランダムに提示し, 自由に答えてもらう形式を採った。したがって, サンプルと同程度のマスクを用いることによる答えの誘導をさけるためにマスクには黒を用いたが1つにはマスクの影響が考えられる。あるいは, 知覚明度の尺度として用いた無彩色サンプルへの照度の影響, いわゆる Stevens 効果¹⁴⁾ の影響が考えられるがこの点については今後の検討課題とした。

一方, 照明光源間で比較すると, 分光エネルギー分布の異なる光源間でも色相による影響は小さく, ほぼ同様の傾向が認められるが, いずれのサンプルも D_{95} , CWF, HOR となるにつれて V_B は V_L に近づくようにわずかに明るく知覚される傾向がある。

人間の眼は等エネルギースペクトル (単色光のエネルギー比が等しいベクトル) の光を見ても各単色光に対する感度が異なる視感度をもっている。マンセル明度は前述のように客観的心理物理量である CIE 表色系の Y (%) によって規定している。つまり Y は, 明所視における標準観測者の三刺激値等色関数の y_{λ} を, 眼の感度が最大となる波長555nmの値を1とした, いわゆる比視感度曲線の積分値であり反射率 (%) である。有彩色

物体の明るさ感を心理物理量で表現する Lightness と心理知覚量の Brightness の差が生じることを提起した Helmholtz-Kohlrausch 効果は測色学的な問題を提起している¹¹⁾。

V_L に対する V_B の差を生じさせる因子を明らかにするために, 彩度, 輝度, 光沢度の各因子との相関関係を検討した。本研究に用いたサンプルは色の3属性の中, 彩度については規格化していない。すなわち, 色相と明度を問題として扱っているが, 観測者は有彩色サンプルの明るさを知覚判断する場合, 網膜の視覚情報としてはカラフルネスとして刺激を受けている。マンセル彩度は主観的な評価であるが, 本論文において表記しているマンセル彩度は前述のように測色による客観的な心理物理量をコンピューターによって便宜的に換算した値である。表1の数値として表示しているマンセル彩度は, 心理物理量としての刺激純度に相当する。

輝度についてみると, 本研究で用いた輝度計によって測光される輝度もまた絶対輝度ではなく比視感度として測定される単位面積あたりの測光量 (cd/m^2) であり, 心理物理量である。

また一方, 変角光沢計による光沢は, 一定角度から投光されたサンプルに反射屈折した光を入射光と同じ角度で受光する機構となっている。すなわち, 一定角度の入射光に対する反射光の強さの比で求められる%として表示される。入射光に対する反射光の比として同様に測定される反射率が45° (照射) - 垂直 (受光) (あるいはその逆) の計測値であるとの違いである。しかも本光沢計は眼の感度にあわせ, 555nm を最高感度で測定され心理物理的光沢度である。

サンプル表面の輝度および光沢度の結果を表3, 表4に示す。また, 無彩色の結果についてはJISより引用した $Y\%$ の値とともに表5に示している。有彩色の対照としての無彩色 (表5) の結果から, 反射光度の輝度と, 光沢度の関係, あくいは反射率の関係がよくあらわれている。無彩色では, Y の値 (V_L) と輝度は物理的パラメーターが異なるがほぼ対応する値を示している。有彩色では (表3), 照明光源のエネルギー分布, 特に550nm付近の光量の大きさが色相との相互作用としてあらわれるのではないかと考える。

彩度, 輝度, 光沢度を横軸に, $\Delta |V_L - V_B|$ を縦軸にとり両者の関係をプロットした散布図を D_{95} の結果について示すと彩度 (図8), 輝度 (図9), 光沢度 (図10) となる。いずれの照明光源においても彩度, 輝度, 光沢度が高いほど $\Delta |V_L - V_B|$ が大きくなる傾向が認められた。さらに, 相関係数と標準偏差の大きさをまとめる

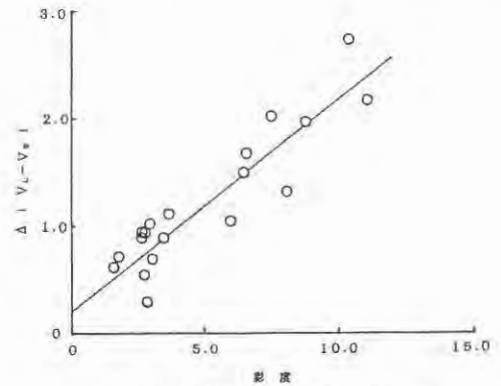
注4) Stevens 効果¹³⁾: 無彩色群を照度を変えて照明すると, 高照度では明るい灰色はより白く, 暗く灰色はより黒く見える。

表3. 照明光源下のサンプル表面の輝度 (cd/m²)

No.	D ₆₅	HOR	CWF	No.	D ₆₅	HOR	CWF
1	397.8	261.0	244.0	22	120.6	107.4	85.6
2	395.2	259.0	245.6	22	137.8	99.2	89.2
3	443.2	285.6	273.8	24	142.4	95.2	89.4
4	363.2	257.0	236.2	25	178.0	89.4	91.6
5	361.4	225.8	217.4	26	155.6	93.2	89.8
6	446.4	295.6	290.2	27	142.8	71.0	68.4
7	480.0	302.6	295.4	28	142.0	69.4	67.4
8	433.2	273.8	268.6	29	117.8	59.0	55.8
9	335.4	203.4	206.4	30	117.6	59.8	60.0
10	390.2	235.0	237.4	31	143.2	78.8	74.0
11	347.2	213.2	208.4	32	150.8	134.4	89.6
12	336.8	186.0	187.4	33	105.0	114.6	64.0
13	395.6	229.8	227.2	34	134.6	105.0	88.4
14	378.4	211.4	214.8	35	66.6	52.0	45.0
15	386.0	219.8	217.8	36	66.4	46.2	44.4
16	368.0	211.0	210.4	37	67.0	41.4	40.6
17	340.8	203.0	201.8	38	58.8	28.6	33.8
18	366.8	228.6	217.8	39	57.2	33.2	33.0
19	398.4	245.6	240.0	40	46.2	36.0	30.0
20	348.4	237.0	213.6	41	63.2	46.6	40.0
21	157.6	153.6	107.2				

表4. サンプルの光沢度 (%)

No.	光沢度(%)	No.	光沢度(%)	No.	光沢度(%)
1	3.83	15	3.67	29	4.48
2	3.68	16	3.55	30	7.71
3	4.24	17	3.49	31	4.43
4	4.43	18	3.57	32	5.93
5	3.68	19	3.76	33	8.15
6	6.80	20	3.62	34	6.60
7	4.78	21	6.71	35	7.06
8	7.32	22	9.81	36	6.10
9	8.41	23	6.47	37	5.07
10	4.47	24	5.15	38	4.87
11	3.63	25	4.14	39	4.56
12	3.85	26	7.37	40	7.84
13	3.78	27	7.09	41	4.61
14	3.70	28	5.97		

照明光源: D₆₅ サンプル: V_L = 8図8 彩度と $\Delta |V_L - V_B|$ の関係

と表6が得られた。相関係数のt検定の結果もあわせて示している。**は99%の信頼率で、*は95%の信頼率で有意であることを示している。以上の結果より、物理的な明度と知覚される明るさに差を生じさせる表面の物理的因子には輝度、光沢度よりも彩度の影響が大きいことが明らかになった。

V_L = 5 の中明度サンプルの結果について

表5. 無彩色サンプルの輝度 (cd/m^2), 光沢度 (%), Y (%)

サンプル	D_{55} (cd/m^2)	HOR (cd/m^2)	CWF (cd/m^2)	光沢度 (%)	Y (%)
N9.0	482.6	299.2	290.6	13.09	78.66
N8.5	430.0	262.6	261.6	13.36	
N8.0	399.4	239.4	238.2	14.02	59.10
N7.5	348.4	214.2	207.4	13.09	
N7.0	310.8	190.0	186.8	11.77	43.06
N6.5	246.2	149.0	146.6	11.00	
N6.0	193.0	120.6	115.0	11.15	30.05
N5.5	162.6	101.8	100.0	11.00	
N5.0	146.8	89.4	89.2	10.14	19.77
N4.5	128.0	80.8	77.0	10.40	
N4.0	104.0	66.8	65.6	10.61	12.00
N3.5	78.8	49.2	46.6	11.21	
N3.0	68.0	43.8	42.2	6.73	6.555
N2.5	53.6	36.4	37.8	11.60	
N2.0	41.6	28.0	26.8	14.49	3.126
BLACK	33.0	24.0	22.8	21.56	

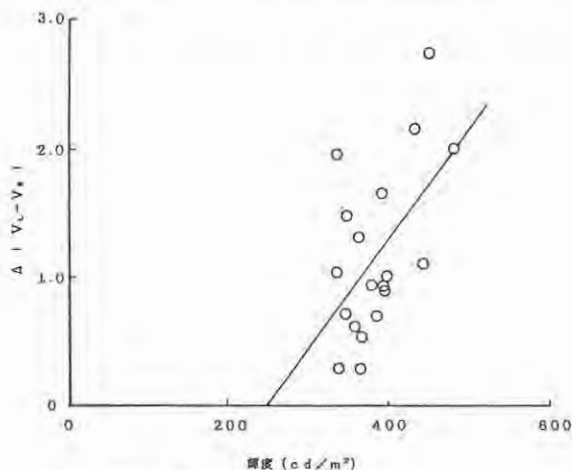
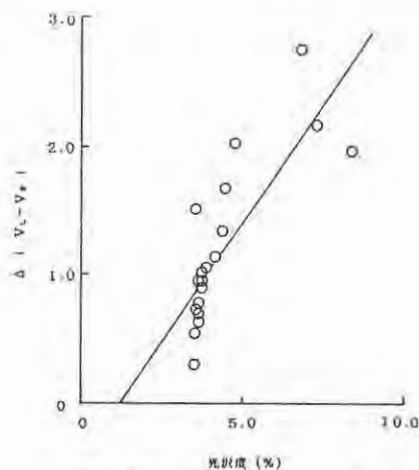
照明光源: D_{55} サンプル: $V_L = 8$ 図9 輝度と $\Delta |V_L - V_B|$ の関係照明光源: D_{55} サンプル: $V_L = 8$ 図10 光沢度と $\Delta |V_L - V_B|$ の関係

表6. 照明光源及びサンプルの光学的物理因子が明るさ知覚に及ぼす影響

— 単色の場合 — $V_L = 8$ $n = 20$

		彩度	輝度	光沢度
D_{55}	相関係数	0.901**	0.527*	0.800**
	標準偏差	0.278	0.545	0.386
HOR	相関係数	0.834**	0.428	
	標準偏差	0.375	0.530	
OWF	相関係数	0.814**	0.579**	
	標準偏差	0.363	0.509	

サンプルの V_B の平均値と標準偏差の結果を表7に示す。 $V_L = 8$ よりもサンプル数が13と少なく、特に黄色系色相が少ないので、結果の概要だけについて述べる。緑色系色相の V_L と V_B の差は赤色系色相の差よりも大きい傾向が認められた。また、光源が D_{55} , CWF, HORとなるにつれて、緑色系色相ではこの差が大きくなるが、赤色系色相では小さくなる傾向が認められた。中でも照明光源HOR下では、赤色系色相のサンプル21, 32, 33, 34は V_L よりも V_B のほうが明るく知覚されている。

表7. サンプルの明るさ知覚 (V_B) の平均値と標準偏差 (S_X)
($V_L = 5$)

No.		D_{55}	HOR	CWF	No.		D_{55}	HOR	CWF
21	V_B	4.5	5.4	5.0	28	V_B	4.3	3.8	4.0
	S_X	1.4	2.4	1.6		S_X	1.0	0.9	0.9
22	V_B	3.9	4.6	4.1	29	V_B	4.1	3.7	3.8
	S_X	1.2	1.4	1.1		S_X	0.9	0.9	1.0
23	V_B	4.7	4.4	4.7	30	V_B	3.9	3.9	3.8
	S_X	0.8	0.6	0.7		S_X	0.9	0.9	1.0
24	V_B	4.7	4.7	4.7	31	V_B	4.5	4.8	4.6
	S_X	0.4	0.4	0.5		S_X	0.9	0.9	1.1
25	V_B	4.7	4.8	4.7	32	V_B	4.6	5.5	4.8
	S_X	1.0	1.8	1.6		S_X	1.4	2.6	1.9
26	V_B	4.5	4.8	4.7	33	V_B	4.1	4.9	4.1
	S_X	0.5	0.9	0.8		S_X	1.5	2.8	1.5
27	V_B	4.2	4.7	4.2	34	V_B	4.1	5.0	4.8
	S_X	1.0	1.8	1.4		S_X	0.5	1.4	0.9

バラツキは、長波長域に高いエネルギーをもち色温度が低いHORにおいて大きくなる傾向が認められた。 V_L に対する V_B の差を生じさせる因子を検討したが、彩度、輝度、光沢度と $\Delta |V_L - V_B|$ の関係には明確な傾向が認められなかった。わずかに輝度因子との相関が95%水準で有意であるが、輝度が高くなれば $\Delta |V_L - V_B|$ が低くなるという逆相関関係が認められた。

$V_L = 3$ の低明度サンプルの結果については結果を省略する。

3. 補色関係にある2色を対比させた場合の照明光源による光学的物理因子が明るさ知覚に及ぼす影響

全41のサンプルについて相互に補色関係が成立する組み合わせ対は、 $V_L = 8$ では13対、 $V_L = 5$ では8対、 $V_L = 3$ では4対であった。

表8に $V_L = 8$ の補色対比による2色間の明るさ知覚についての組み合わせ結果と11名の観測者による左右振りかえ実験の計22個のデータの平均評価点を示す。a枠のサンプルがb枠サンプルよりも明るく見える場合の評価点をプラスとして集計している。

赤色系色相、黄色色系色相の暖色系色相のほうが青色系色相、緑色系色相の寒色系色相よりも明るく知覚される傾向が認められた。その傾向は照明光源 D_{55} 、HOR、CWFの順に著しい。光源の色温度によって強調される結果ではないかと考える。

対比による影響についてみると、単色での2色間の V_B の順位と一致している組み合わせ（例①7.5R 8/4と⑩7.5B 8/3）もあれば、逆転している組み合わせ（例⑥5Y 8/10と⑩5PB 8/3）もあった。我々は日常、視野に飛び込む多色環境の中で色を知覚している。そこで、補色対比で求めた2色間の明るさ知覚の評価点（ V_B 尺度値）と、それぞれのもつ彩度、輝度、光沢度の2色間の差の影響についてみると、2色間の物理的因子を横軸に、2色間の明るさ知覚の評価点を縦軸に因子間の相関関係を求めた。結果を表9に示すように2色間の明るさ知覚には、彩度差、光沢度差よりも輝度差の影響が大きいということが明らかになった。

4. 補色関係にある2色を対比させた場合の照明光源による光学的物理因子が誘目性に及ぼす影響

$V_L = 8$ の2色間補色対比による誘目性についてみると、表8に併記して示すように、2色間の彩度差が大きいものほど誘目性の評価得点が高い。また、光源の影響についてみると、 D_{55} 、HOR、CWFの順にその影響が明確になる。そこで、2色間の誘目性の評価点と、それぞれのもつ彩度、輝度、光沢度の差との因子間相関関係について検討した。表10に示すように、誘目性は、彩度差、輝度差、光沢度いずれの因子とも正の相関があり、全て3つの因子によって影響されるが、中でも彩度差による影響が大きいことが明らかになった。

表 8 照明光源による明るさ知覚と誘目性 ($V_L = 8$)

サンプル (マンセル表示)	サンプル (マンセル表示)		照 明 光 源		
			D_{55}	HOR	CWF
① 7.5 R 8/4	⑭ 7.5 BG 8/3	明 る さ	0.36	0.36	0.68
		誘 目 性	0.18	0.77	0.81
① 7.5 R 8/4	⑮ 7.5 B 8/3	明 る さ	0.05	0.59	0.73
		誘 目 性	0.32	0.77	0.82
② 7.5 YR 8/3	⑮ 7.5 B 8/3	明 る さ	0.05	0.27	0.50
		誘 目 性	-0.05	0.59	0.50
③ 7.5 YR 8/4	⑮ 7.5 B 8/3	明 る さ	0.45	0.54	0.73
		誘 目 性	0.45	0.86	0.95
④ 7.5 YR 8/8	⑮ 7.5 B 8/3	明 る さ	0.00	1.00	0.73
		誘 目 性	1.23	1.64	1.50
⑤ 7.5 YR 8/2	⑮ 7.5 B 8/3	明 る さ	-0.36	-0.05	0.45
		誘 目 性	-0.73	0.05	-0.09
⑥ 5 Y 8/10	⑯ 5 PB 8/3	明 る さ	0.55	1.14	1.09
		誘 目 性	1.86	1.91	2.00
⑦ 5 Y 8/8	⑯ 5 PB 8/3	明 る さ	0.50	1.09	1.14
		誘 目 性	1.64	1.86	1.91
⑧ 10 Y 8/10	⑰ 10 PB 8/3	明 る さ	0.55	1.05	1.23
		誘 目 性	1.95	1.77	2.00
⑨ 5 GY 8/8	⑱ 5 P 8/3	明 る さ	-0.55	0.45	0.55
		誘 目 性	1.32	1.41	1.64
⑩ 5 GY 8/6	⑱ 5 P 8/3	明 る さ	-0.14	0.41	0.50
		誘 目 性	0.82	1.09	1.18
⑪ 5 GY 8/2	⑱ 5 PB 8/3	明 る さ	-0.50	0.00	-0.36
		誘 目 性	-0.45	0.36	-0.05
⑪ 5 GY 8/2	⑱ 5 P 8/3	明 る さ	-0.41	-0.18	-0.45
		誘 目 性	-0.41	-0.41	-0.27
⑫ 5 G 8/6	⑲ 5 RP 8/3	明 る さ	-0.36	-0.18	-0.32
		誘 目 性	0.42	0.50	0.27
⑫ 5 G 8/6	⑳ 5 RP 8/6	明 る さ	-0.32	-0.59	-0.77
		誘 目 性	-0.64	-0.68	-0.68
⑬ 5 G 8/3	㉑ 10 PB 8/3	明 る さ	0.18	0.55	0.18
		誘 目 性	0.23	0.73	0.23
⑬ 5 G 8/3	㉑ 5 RP 8/3	明 る さ	0.00	-0.14	-0.41
		誘 目 性	-0.05	-0.05	-0.45
⑬ 5 G 8/3	㉑ 5 RP 8/6	明 る さ	0.05	-0.50	-0.41
		誘 目 性	-0.77	-0.91	-1.00

表9. 照明光源及びサンプルの光学的物理因子が明るさ知覚に及ぼす影響

— 2色対比の場合 — $V_L = 8$ $n = 18$

		Δ 彩度	Δ 輝度	Δ 光沢度
D_{85}	相関係数	0.380	0.874**	0.197
	標準偏差	0.333	0.175	0.353
H O R	相関係数	0.773**	0.837**	
	標準偏差	0.331	0.286	
C W F	相関係数	0.684**	0.815**	
	標準偏差	0.442	0.351	

人間の色彩に対する心理知覚効果には多くの要因が交絡して影響しあうことを示している。

総 括

光源の演色性ならびに2色対比による色の見え方についてパネラーによる視感測定法によって次の2項目について検討した。

1) 単色で色物体を見た場合、客観的な心理物理量としての明度 (Lightness, V_L) と主観的な明るさ知覚 (Brightness, V_B) は同じであるのか、差異が生じるならば、差異を生じさせる光学的物理因子の何が最も影響するのか。

2) 同じ V_L をもつ補色関係にある2色を対比させた場合、2色間の V_B の関係は単色知覚の場合と同じであるのか、さらに、誘目性には光学的物理因子の何が最も影響するのか。

明るさ知覚には無彩色尺度による等価明度を測定し、視感測定用マスクには黒を用いた。

有彩色物体を単色で見る場合、光学的物理因子が明るさ知覚に及ぼす影響についてみると、 $V_L = 8$ の高光度サンプルでは、黄色系色相の V_B は V_L よりも低く知覚され、観測者によるバラツキも大きくなる傾向が認められた。この結果は、例えばグレースケールを用いた染色堅牢試験の判定を求めるには注意が必要であるということを示唆している。分光エネルギー比の異なる他の光源においても同様の結果が認められた。このような V_L と V_B の差を生じさせる因子を検討した結果、いずれの照明下においても明るさ知覚は輝度、光沢度よりも彩度の影響が大きいことが明らかになった。

補色対比による2色間の明るさ知覚についてみると、単色での2色間の V_B の順位と一致している組み合わせもあれば、逆転している組み合わせもあり、また組み合わせによって照明光源の影響も異なるなどの結果が得られた。この結果は、人間の色彩に対する心理知覚効果には多くの要因が交絡して影響しあうことを示している。

表10. 照明光源及びサンプルの光学的物理因子が誘目性に及ぼす影響

 $V_L = 8$ $n = 18$

		Δ 彩度	Δ 輝度	Δ 光沢度
D_{85}	相関係数	0.962**	0.502*	0.764**
	標準偏差	0.235	0.746	0.557
H O R	相関係数	0.874**	0.687**	
	標準偏差	0.403	0.603	
C W F	相関係数	0.895**	0.654**	
	標準偏差	0.419	0.719	

そこで補色対比による2色間の明るさ知覚の評価点とそれぞれのもつ彩度、輝度、光沢度の差との因子間の相関関係について検討した結果、 $V_L = 8$ の場合は2色間の明るさ知覚には、彩度差、光沢度よりも輝度差の影響が大きく、 $V_L = 5$ の場合は彩度差の影響が大きいことが明らかになった。

誘目性に及ぼす光学的物理因子の影響についてみると、彩度差、輝度差、光沢度差と正の相関があり、いずれの因子によっても影響されるが、中でも彩度差による影響が大きい。すなわち、明るく見えるということと、目立ちの感情効果は一義的でないといえる。

文 献

- 1) Visual Processing in Monkey Extrastriate Cortex: Munsell, J. H. R., Newsome, W. T.; Annual Review of Neuroscience, 10, 363-401 (1987)
- 2) Formulation of a Nonlinear Model of Chromatic Adaptation for a Light-Gray Background; K. Takahama, H. Sobagaki, Y. Nayatani, Color Res. Appl., 9, 106~115 (1984)
- 3) 2色配色の面積比が配色感情に及ぼす影響; 納谷喜信, 辻本明江, 浅野長一郎, 畠中駿逸, 池田潤平, 山崎勝弘, 電総研彙報, 34, 588~599 (1970)
- 4) 単色感情の分析; 納谷喜信, 辻本明江, 側垣博明, 山崎勝弘, 池田潤平, 電総研彙報, 36, 415~433 (1972)
- 5) The Specification of Colour Appearance I; R. W. G. Hunt, Color Res. Appl., 2, 55~68 (1977)
- 6) Correlate for Lightness in Terms of CIE Chromaticity Coordinates and Luminous Reflectance; G. Wyszecki, J. Opt. Soc. Am., 57, 254 (1967)
- 7) Equivalent Lightness of Colored Objects at

- Illuminances from the Scotopic to the Photopic Level; M. Ikeda, C. H. Huang, S. Ashizawa, Color Res. Appl., 14, 198~206 (1989)
- 8) 照度レベルによる色の見えの明るさ知覚への寄与; 湯尻 照, 日本色彩学会誌, 15, 37~38 (1991)
- 9) 有彩色 (スペクトル色も含む) の B/L 比及び L/Y の理論的推定; 納谷喜信, 五味 裕, 高浜幸太郎, 側垣博明, 橋本健次郎, *ibid.*, 14, 57~58 (1990)
- 10) 有彩色の B/L 比及び L/Y 比の実用推定; 納谷喜信, 猪原正守, 亀井政昭, 橋本健次郎, 高浜幸太郎, 側垣博明, *ibid.*, 14, 59~60 (1990)
- 11) 繊維製品の色管理と染色堅ろう性能に関する若干の調査; 通商産業検査所 金沢支所, 繊維製品消費科学, 31, 110~112 (1990)
- 12) Helmholtz-Kohlrausch 効果の改良推定; 納谷喜信, 一瀬 誠, 加藤浩治, 青山哲治, 側垣博明, 橋本健次郎, 日本色彩学会誌, 15, 35~36 (1991)
- 13) 色彩の事典, 川上元郎, 児玉 晃, 富家 直, 太田 登, 朝倉書店, 1987, p85
- (平成 3 年 10 月 11 日受理)

Summary

Color appearances of object colors by color rendering of light source were studied using 175 Color Papers under the booth mounted four kinds of light sources to provided a controlled viewing environment. Three of them were used in this research, that is, artificial day light D_{65} , cool white fluorescent CWF and horizontal sunlight HOR having various relative power of spectra.

Three groups of test samples having various hue and three levels of Munsell Value about $V_L=8, 5$ and 3 were selected from view point of objective psychophysical lightness by colorimetric measurement. Subjective perceived brightness of chromatic test samples were judged equivalent to Munsell Value of achromatic colors by visual comparison. Fifteen levels of achromatic color samples used as measure were from 2.0 to 9.0 interval 0.5. The other, psychophysical properties of chromatic test surface such as luminance and gloss of degree 45 were also measured.

When single colors of higher lightness $V_L=8$ were observed, the perceived brightness measured as equivalent lightness were lower than psychophysical quantities, particularly for yellowish hue. It was resulted that the perceived brightness was significantly influenced by the surface optic properties such as luminance, gloss and chroma. The most influence factor was chroma, that was the purity of psychophysical quantity.

The color appearances of complementary contrasts were more complex. Luminance difference between complementary two colors was more effective on the perceived brightness rather than gloss difference or chroma difference. And the other, chroma difference is the most effective on the attentiveness.